

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-231996

(43)Date of publication of application : 16.08.2002

(51)Int.Cl.

H01L 33/00
H01L 21/205

(21)Application number : 2001-368095

(71)Applicant : NATIONAL INSTITUTE FOR
MATERIALS SCIENCE

(22)Date of filing : 03.12.2001

(72)Inventor : KOIZUMI SATOSHI
WATANABE KENJI
KANDA HISAO

(30)Priority

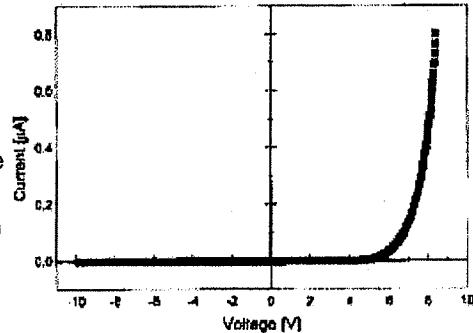
Priority number : 2000403818 Priority date : 01.12.2000 Priority country : JP

(54) ULTRAVIOLET LIGHT EMITTING DIAMOND DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a diamond pn junction diode and a pin junction diode capable of emitting ultraviolet light.

SOLUTION: An ohmic electrode is formed on a boron-doped p-type semiconductor diamond thin film (p-type layer) or an electroconductive substrate brought into contact with the thin film. A phosphorus-doped n-type semiconductor diamond thin film (n-type film) is formed directly or via an undoped diamond thin film on the surface of the p-type layer without being brought into contact with the ohmic electrode. An ohmic electrode is formed on the surface of the n-type layer without contacting the p-layer or the ohmic electrode formed on the p-layer.



(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) **公開特許公報 (A)**

(11) 特許出願公開番号

特開2002-231996

(P 2 0 0 2 - 2 3 1 9 9 6 A)

(43) 公開日 平成14年8月16日(2002.8.16)

(51) Int. Cl. 7

H01L 33/00

21/205

識別記号

F I

マークコード (参考)

H01L 33/00

21/205

A 5F041

5F045

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全7頁)

(21) 出願番号 特願2001-368095 (P 2001-368095)
(22) 出願日 平成13年12月3日 (2001.12.3)
(31) 優先権主張番号 特願2000-403818 (P 2000-403818)
(32) 優先日 平成12年12月1日 (2000.12.1)
(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 301023238
独立行政法人物質・材料研究機構
茨城県つくば市千現一丁目2番1号
(72) 発明者 小泉 聰
茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立
行政法人 物質・材料研究機構内
(72) 発明者 渡邊 賢司
茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立
行政法人 物質・材料研究機構内
(72) 発明者 神田 久生
茨城県つくば市千現一丁目2番1号 独立
行政法人 物質・材料研究機構内

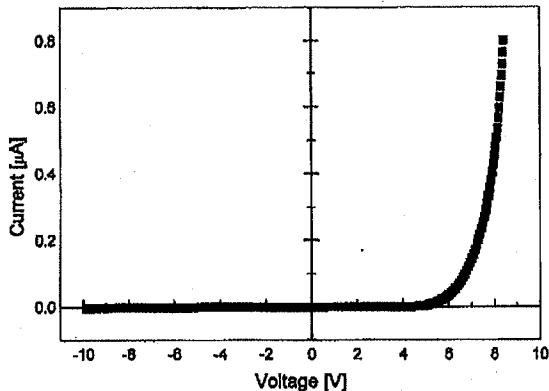
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ダイヤモンド紫外光発光素子

(57) 【要約】

【課題】 紫外光発光が可能なダイヤモンドp-n接合およびp-i-n接合ダイオードを提供する。

【解決手段】 ホウ素ドープp型半導体ダイヤモンド薄膜 (p型層) あるいはそれに接する電気伝導性基板にオーム性電極が形成され、そのオーム性電極に接すことなく、p型層表面に直接あるいはアンドープダイヤモンド薄膜をはさんでリンドープn型半導体ダイヤモンド薄膜 (n型層) が形成され、その表面にp型層及びp型層に形成されたオーム性電極に接すことなくオーム性電極が形成されるものとする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ホウ素ドープp型半導体ダイヤモンド薄膜(p型層)表面に直接あるいはアンドープダイヤモンド薄膜(i層)をはさんでn型層としてリンドープn型半導体ダイヤモンド薄膜が積層されたpnあるいはpi-n接合構造を有し、p型層およびn型層の表面に形成されたオーム性電極を通して通電することで紫外光の発光が得られることを特徴とするダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項2】 紫外光の発光は、ダイヤモンドの自由励起子再結合に基く235nm(5.27eV)の発光ピークとホウ素及びリンドープダイヤモンドに固有の260nmから280nmにピークを持つプロードな発光バンドのいずれかあるいは両方として得られることを特徴とする請求項1のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項3】 p型層のホウ素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度で室温移動度が $50 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 以上で、n型層のリン濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度で室温移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 以上で、カソードルミネセンスあるいはフォトルミネセンスにおいて、いずれかの層より自由励起子あるいはホウ素に束縛された束縛励起子あるいはリンに束縛された束縛励起子の再結合に基く発光が100Kレベルの低温あるいは室温において観測されるダイヤモンド薄膜により構成されていることを特徴とする請求項1のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項4】 p型層が電気伝導性を持つダイヤモンド単結晶{111}表面に形成されていることを特徴とする請求項1のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項5】 p型層に対するオーム性電極が電気伝導性を持つダイヤモンド基板の裏面(p型層が形成されていない面)に形成され、p型層に対して電気伝導性を持つダイヤモンド基板を通して電流供給がなされ、n型層表面にp型層及びダイヤモンド基板に接することなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする請求項4に記載のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項6】 p型層が絶縁性のダイヤモンド単結晶{111}表面に形成されていることを特徴とする請求項1のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項7】 p型層に対するオーム性電極がn型層に接することなく形成され、n型層表面にp型層に接することなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする請求項6のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項8】 p型層が立方晶窒化ホウ素(cBN)、イリジウム(Ir)、ニッケル(Ni)、白金(Plt)、炭化シリコン(SiC)、またはシリコン(Si)の{111}結晶基板表面にヘテロエピタキシャル成長されていることを特徴とする請求項1のダイヤモ

ド紫外光発光素子。

【請求項9】 p型層に対するオーム性電極が基板の裏面(p型層が形成されていない面)に形成され、p型層に対して基板を通して電流供給がなされ、n型層表面にp型層及びダイヤモンド基板に接することなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする請求項8のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項10】 p型層がダイヤモンド以外の基板表面に{111}結晶面が支配的に析出した多結晶薄膜として成長し、n型層が直接あるいはi層をはさんでp型層の{111}結晶面にのみ選択的に成長して接合を形成していることを特徴とする請求項1のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項11】 p型層に対するオーム性電極が基板の裏面(p型層が形成されていない面)に形成され、p型層に対して基板を通して電流供給がなされ、n型層表面にp型層及びダイヤモンド基板に接することなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする請求項10のダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項12】 請求項5、7、9または11のpn接合またはpin接合の順方向電流、逆方向電流の整流比が順逆20Vにおいて3桁以上であることを特徴とするダイヤモンド紫外光発光素子。

【請求項13】 請求項1ないし12のいずれから紫外光発光素子として紫外光発光を可能とすることを特徴とするダイヤモンドのpn接合またはpin接合ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ダイヤモンドにより形成されたpn接合またはpin接合による紫外光発光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 ダイヤモンドの合成は高温高圧法や、気相法により可能であり、高温高圧法では粒子や基板材料として用いるバルク状の単結晶ダイヤモンドが、気相法では薄膜状のダイヤモンドが形成可能である(小泉聰、犬塚直夫:新機能性薄膜(日本材料科学会編)、p180(1999)、蓑華房、S. Matumoto, et. al., Jpn. J. Appl. Phys., 21 L183(1982).)。

【0003】 また、半導体ダイヤモンドの合成に関しては、高温高圧法ではホウ素ドープのp型層半導体ダイヤモンドが作製可能であり、気相法ではホウ素ドープのp型半導体ダイヤモンド薄膜(特開昭59-137396)およびリンドープのn型半導体ダイヤモンド薄膜(S. Koizumi, et. al., Appl. Phys. Lett., 71, 1065(1997)、特開平8-9690301)の作製が可能である。

【0004】 気相法においては、アンドープの絶縁性ダイヤモンド薄膜、ホウ素ドープのp型半導体ダイヤモ

ド薄膜およびリンドープのn型半導体ダイヤモンド薄膜の作製において、高い結晶完全性を得ることが可能で、低温および高温においてカソードルミネッセンスおよびフォトルミネッセンスにより励起子再結合発光が観測される薄膜の作製が可能となっている(H. Sternschulte, et. al., Proc. Mat. Res. Soc., 423, 693(1996).)。

【0005】リンドープのn型半導体ダイヤモンド薄膜の成長は{111}結晶面のみで可能であり、気相成長ダイヤモンドの一方の安定自形面である{100}結晶面では成長しないかまたはリンのドーピングがきわめて低効率であり、電気伝導を示す薄膜はきわめて得られにくい(S. Koizumi, et. al., presented at Diamond 2000 international conference, 2-7 September 2000, Porto.)。

【0006】ホウ素ドープのp型半導体ダイヤモンド薄膜に対するオーミック電極形成はチタン(Ti)薄膜の真空蒸着により可能である。400°C程度の熱処理により良好なオーミック特性が見られる。通常、チタン薄膜形成後に保護膜として金蒸着膜を形成する(S. Yamanaka: Doctoral thesis, Faculty of Material Science, University of Tsukuba, Tsukuba, 1999.)。

【0007】リンドープのn型半導体ダイヤモンド薄膜に対するオーミック電極形成は、イオン照射により可能である。例えば、ガリウム(Ga)イオンビーム30keVを用い、ダイヤモンド表面が黒鉛状炭素の電子構造となる程度に欠陥を導入することで比較的良好なオーム性伝導が得られる。イオン種はGaに限らず、アルゴン(Ar)、炭素(C)、リン(P)などでも可能である(T. Teraji, et. al., Appl. Phys. Lett., 76, 1303(2000). 特開平11-249910)。

【0008】ダイヤモンドのヘテロエピタキシャル成長は立方晶窒化ホウ素(cBN)(S. Koizumi, et. al., Appl. Phys. Lett., 57, 563(1990).)、イリジウム(Ir)(K. Ohtsuka, et. al., Jpn. J. Appl. Phys. 35, L1072(1996).)、ニッケル(Ni)(Y. Sato, et. al., Proc. 2nd Int. Conf. New Diamond Sci. Technol., p371, Materials Research Society, Pittsburgh(1991).)、白金(Pt)(T. Tachibana, et. al., Diamond Relat. Mater., 5, 197(1996).)、炭化シリコン(SiC)(B. R. Stoner, et. al., Appl. Phys. Lett., 60, 698(1992).)、シリコン(Si)(X. Jiang, et. al., Appl. Phys. Lett., 62, 3438(1993).)の基板表面で確認されている。

【0009】なお、上記以外の非ダイヤモンド基板表面では一般に多結晶ダイヤモンド薄膜が成長する。多結晶ダイヤモンド薄膜の成長においては、成長条件の制御により最終的に表面に現れる結晶自形面を制御可能である。例えば、マイクロ波プラズマを利用した化学気相成長法(CVD法)において、{111}結晶面を優勢にするためには原料気体中の炭素源気体濃度を小さくし、

800~850°C程度の比較的低温においてダイヤモンド成長を行えばよい(M. Rosler et. al., 2nd Int. Conf. Appl. Diamond Films Relat. Mater., p.691, MYU, Tokyo(1993).)。

【0010】一方、ダイヤモンドのpn接合については、多結晶リンドープダイヤモンド薄膜と多結晶ホウ素ドープダイヤモンド薄膜の積層膜(従来例1)、および、単結晶窒素ドープダイヤモンドとその表面にエピタキシャルに形成されたホウ素ドープp型半導体ダイヤモンド薄膜(従来例2)(A. Aleksov et. al., Proc. ADC/PCT'99, Edited by M. Yoshikawa, et. al., p.138, T. Tsukuba, (1999).)が知られている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これまでにも上記のとおりの数多くの報告がなされ様々な観点からの検討が進められてきているものの、従来の技術では、ダイヤモンド膜pn接合構造においても紫外発光が得られないという問題があった。本発明は、このような問題を解決することを課題としている。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記の課題を解決するものとして、リンドープn型半導体ダイヤモンド薄膜とホウ素ドープp型半導体薄膜の積層薄膜においてpn接合を形成した紫外発光素子を提供する。

【0013】また、アンドープダイヤモンド薄膜をn型半導体ダイヤモンド薄膜とp型半導体薄膜の間に形成した積層薄膜のpn接合構造を形成した紫外発光素子を提供する。

【0014】そして、本発明では、p型半導体ダイヤモンド薄膜およびn型半導体ダイヤモンド薄膜にはそれぞれオーム性電極が形成され、それら電極間にダイオード順方向、すなわち、p型層に正電圧を、n型層に負電圧を印加し通電することでダイヤモンドの自由励起子再結合に基づく235nm(5.27eV)の発光ピークとホウ素及びリンドープダイヤモンドに固有の260nmから280nm(およそ4.5eVから4.6eV)にピークを持つプロードな発光バンドのいずれかあるいは両方を得ることを特徴とするダイヤモンド紫外光発光素子を提供する。

【0015】このような特徴のある本発明の紫外光発光素子について、以下の実施の形態に基づいて詳細に説明する。

【0016】

【発明の実施の形態】ダイヤモンドは室温で5.47eVの広いバンドギャップを持ち、気相成長法(CVD法)においてホウ素を添加して合成されたダイヤモンド薄膜はp型半導体に、リンを添加して合成されたダイヤモンド薄膜はn型半導体に電気伝導型の制御が可能である。合成条件を厳密に制御することで、これらの半導体ダイヤモンドおよびアンドープのダイヤモンド薄膜は欠

陥順位等によるキャリアの再結合を抑制され、カソードルミネッセンスやフォトルミネッセンスのスペクトル測定においてバンド端発光が観察されるレベルまで完全性の高い結晶成長が可能となっている。

【0017】ダイヤモンドは間接遷移型の結晶であるため、バンド端発光は励起子の再結合発光として観測される。アンドープダイヤモンドでは自由励起子再結合発光が235 nm (5.27 eV) に、ホウ素ドープダイヤモンドでは238 nm (5.21 eV) に、リンドープダイヤモンドでは239 nm (5.18 eV) にそれぞれの不純物に局在した励起子である束縛励起子の再結合による発光が見られる。局在エネルギーはホウ素の場合0.06 eV、リンの場合0.09 eVであり、ホウ素およびリンドープのダイヤモンドでも室温では十分に束縛が解放され自由励起子再結合発光として観測される。

【0018】ホウ素はダイヤモンド中において価電子帯頂上より0.37 eVの禁止帯中にアクセプター準位を形成する。一方、リンはダイヤモンド中において伝導帯底より0.6 eVの禁止帯中にドナー準位を形成する。ホウ素ドープp型半導体ダイヤモンド薄膜とリンドープn型半導体薄膜でpn接合を形成した場合、拡散電位は高々数ボルトである。p型層に正電圧、n型層に負電圧を印加する順方向動作状態においてn型層で主キャリアである電子はp型層に少数キャリアとして注入され、p型層で主キャリアである正孔はn型層に少数キャリアとして注入される。従って、原理的には数ボルト程度の動作電圧において発光を得ることが可能である。また、アンドープ層をp型、n型半導体層の間に挟んだpin構造においてはi層の作用で動作電圧は高くなる。

【0019】上記のpn接合およびpin接合ダイオードの室温動作時において、束縛励起子は室温程度の格子振動により束縛が解放されるため、得られる発光は自由励起子の再結合発光となる。これは、室温における結晶完全性の高いアンドープ、ホウ素ドープおよびリンドープ層からのカソードルミネッセンスおよびフォトルミネッセンス分光測定結果に一致する。また、結晶性が若干劣る場合、ホウ素ドープダイヤモンド薄膜およびリンドープダイヤモンド薄膜の特徴的な260 nmから280 nm (および4.5 eVから4.6 eV) にピークを持つプロードな紫外発光バンドも観測される。

【0020】以上のことからも、この出願においては、p型層のホウ素濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度で室温移動度が $50 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 以上で、n型層のリン濃度が $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下の濃度で室温移動度が $10 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 以上で、カソードルミネッセンスあるいはフォトルミネッセンスにおいて、いずれかの層より自由励起子あるいはホウ素に束縛された束縛励起子あるいはリンに束縛された束縛励起子の再結合に基団する発光が10

0 Kレベルの低温あるいは室温において観測されるダイヤモンド薄膜により構成されていることを特徴とするダイヤモンド紫外光発光素子が提供される。

【0021】そして、p型層が電気伝導性を持つダイヤモンド単結晶 {111} 表面に形成されていることを特徴とするダイヤモンド紫外光発光素子が提供されるが、電気伝導性を持つダイヤモンド単結晶を基板に用いることで比較的結晶完全性に優れたダイヤモンド薄膜が得られ、かつ、積層方向に電流を流し動作可能であるため低電圧で安定な動作が可能となる。

【0022】この場合、例えば、p型層に対するオーム性電極が電気伝導性を持つダイヤモンド基板の裏面 (p型層が形成されていない面) に形成され、p型層に対して電気伝導性を持つダイヤモンド基板を通して電流供給がなされ、n型層表面にp型層及びダイヤモンド基板に接すことなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする請求項1に記載の紫外光発光pn接合またはpin接合ダイオードが実現される。

【0023】p型層が絶縁性のダイヤモンド単結晶 {111} 表面に形成されていることを特徴とする紫外光発光素子とすることもできる。

【0024】絶縁性ダイヤモンド基板を用いることで、より完全性の高いホウ素ドープ、リンドープおよびアンドープのダイヤモンド薄膜が形成可能となり、ダイオードとして整流比に優れたものとなる。また、結晶欠陥に伴う発光は低減され、バンド端発光である励起子再結合発光がより高強度で観測されるようになる。

【0025】この場合、例えば、p型層に対するオーム性電極がn型層に接すことなく形成され、n型層表面にp型層に接すことなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする紫外光発光pn接合またはpin接合ダイヤモンドが実現できる。

【0026】例えば、立方晶窒化ホウ素 (cBN)、イリジウム (Ir)、ニッケル (Ni)、白金 (Pt)、炭化シリコン (SiC)、またはシリコン (Si) の {111} 結晶基板を用い、それらの表面でダイヤモンド薄膜をヘテロエピタキシャルに成長することで、前記のダイヤモンドを基板とした場合にはおよばないものの比較的完全性の高いダイヤモンド薄膜が形成され、ダイヤモンド基板に比べて安価な素子の作製が可能となる。

【0027】この場合、p型層に対するオーム性電極が基板の裏面 (p型層が形成されていない面) に形成され、p型層に対して基板を通して電流供給がなされ、n型層表面にp型層及びダイヤモンド基板に接すことなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする紫外光発光pn接合およびpin接合ダイオードが、例えば実現される。

【0028】さらに、本発明では、p型層がダイヤモンド

ド以外の基板表面に {111} 結晶面が支配的に析出した多結晶薄膜として成長し、{111} 表面にのみ成長するリンドープダイヤモンド薄膜の性質を生かして n 型層が直接にあるいは i 層をはさんで p 型層の {111} 結晶面でのみ p-n または p-i-n 接合が形成される構造を自動的、排他的に形成することを特徴とする紫外光発光素子も可能とする。より安価な素子の作製が可能となる。

【0029】 例えば、p 型層に対するオーム性電極が基板の裏面 (p 型層が形成されていない面) に形成され、p 型層に対して基板を通して電流供給がなされ、n 型層表面に p 型層及びダイヤモンド基板に接することなく形成されたオーム性電極を通して通電することで動作することを特徴とする紫外光発光 p-n 接合および p-i-n 接合ダイオードが実現される。

【0030】 そこで以下に実施例を示し、さらに詳しく説明する。もちろん以下の例によって本発明が限定されることはない。

【0031】

【実施例】 <実施例 1> 図 1 は、本発明の第 1 の実施例である紫外発光ダイオードを示す断面図である。ホウ素を添加した電気伝導性を持つ高圧合成単結晶基板ダイヤモンド (1) の {111} 表面にマイクロ波プラズマ CVD によりホウ素ドープダイヤモンド薄膜 (p 型層)

(2) を 2 ミクロン形成し、更にその表面にマイクロ波プラズマ CVD 法によりリンドープダイヤモンド薄膜

(n 型層) (3) を 1 ミクロン形成して積層膜試料とした。基板の外形は 2 mm × 2 mm で厚みは 0.5 mm である。各層の合成条件を表 1 にまとめて示す。積層膜試料は酸化処理され表面に吸着する水素を除去した。

【0032】 p 型層のアクセプター密度は $1 \sim 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、正孔移動度は室温で約 $100 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ である。n 型層のドナー密度は $5 \sim 8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、電子移動度は室温で約 $50 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ である。基板である電気伝導性ダイヤモンドの裏面には電子ビーム蒸着によりチタンを 400°C にて 100 nm 成膜後、保護膜として金を 100 nm 成膜しオーミック電極

10 (4) とした。n 型層にはイオン注入による電極形成技術に従いアルゴンイオン (Ar^+) を 40 keV にてドーズ量 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 注入し、その表面に上記と同様にして Au/Ti 電極を形成し、オーミック電極 (5) とした。

【0033】 図 2 は、第 1 の実施例である紫外発光ダイオードの電圧電流特性である。ダイオード順方向である正電圧において明確な電流増加を示し、整流比は ± 10 20 V において約 3 枝、逆方向電流は 2 nA 程度であった。順方向電流 0.5 mA 程度、動作電圧 2.5 V 程度から発光が観測された。発光は 275 nm 程度にピークを持つプロードなバンド発光が観測された。

【0034】

【表 1】

| | p 型半導体ダイヤモンド薄膜 | n 型半導体ダイヤモンド薄膜 |
|---------|---|---|
| 原料気体 | 水素 (H_2)、メタン (CH_4)、トリメチルボロゲン (TMB) | 水素 (H_2)、メタン (CH_4)、ホスフィン (PH_3) |
| メタン濃度 | $\text{CH}_4/\text{H}_2: 0.1\%$ | $\text{CH}_4/\text{H}_2: 0.05\%$ |
| 不純物気体濃度 | TMB/ $\text{H}_2: 0.02 \text{ ppm}$ | $\text{PH}_3/\text{H}_2: 0.25 \text{ ppm}$ |
| 原料気体圧力 | 80 Torr | 100 Torr |
| 原料気体流量 | 500 sccm | 400 sccm |
| 成長温度 | 900°C | 900°C |
| 成長時間 | 3 時間 | 2 時間 |

【0035】 <実施例 2> 第 1 の実施例に示した n 型層の膜厚を 500 nm として同様の素子を形成した。ダイヤモンドの整流比は $\pm 20 \text{ V}$ において 4 枝以上であった。発光は同様に 0.5 mA 程度から明確に観測され、その時の動作電圧はおよそ 20 V であった。

【0036】 <実施例 3> 図 3 は、本発明の第 3 の実施例である紫外発光ダイオードを示す断面図である。第 1 の実施例と異なる点は、p 型層と n 型層の間にアンドープダイヤモンド薄膜 (i 層) (6) が形成されている点である。i 層の膜厚は 50 nm 程度である。そのほかの条件は第 1 の実施例と同じである。図 4 に、紫外発光ダイオードの発光特性を示す。動作電圧は 1 mA の時 2.7 V 程度、 5 mA の時 2.9 V 程度、 10 mA の時 3.5 V 程度である。電流増加に伴い、 235 nm の自由励起子再結合の発光が強度を増し、 10 mA では紫外バンド発光

強度を上回り、他の結晶欠陥に伴う可視域のバンド発光に対して $1/7$ 程度の強度で観測される。

【0037】 <実施例 4> 図 5 は、本発明の第 4 の実施例である紫外発光ダイオードを示す断面図である。第 1 の実施例と異なる点は、下地に絶縁性ダイヤモンド基板 7 を用いている点である。また、絶縁性基板を用いることにより、p 型層 2 への電極 4 は反応性イオンエッティングにより n 型層を部分的に除去して形成されている点が異なる。そのほかの条件は第 1 の実施例と同じである。この構造においては動作電圧 3.0 V 程度以上で発光が観測され、可視光領域の発光を含まない紫外発光が観測されている。図 6 は、第 4 の実施例である紫外発光ダイオードの電圧電流特性を片対数プロットしたものである。ダイオードの整流比は $\pm 10 \text{ V}$ において 9 枝程度で、 -10 V における逆方向電流は 1 pA 以下であった。

【0038】<実施例5>図7は、本発明の第5の実施例である紫外発光ダイオードを示す断面図である。第1の実施例と異なる点は、下地にイリジウムエピタキシャル薄膜8を用いている点である。イリジウム薄膜は炭化シリコン、チタン酸ストロンチウム、サファイア、酸化マグネシウムあるいはダイヤモンドなどの高融点単結晶基板9表面にエピタキシャル成長したものを用いる。また、p型層2への電極4は反応性イオンエッティングによりp型層およびn型層を部分的に除去してイリジウム表面に形成されている点が異なる。そのほかの条件は第1の実施例と同じである。この構造においては動作電圧15V程度以上で発光が観測され、強い可視光領域の発光と275nmの紫外バンド発光が観測されている。

【0039】<実施例6>図8は、本発明の第6の実施例である紫外発光ダイオードを示す断面図である。第1の実施例と異なる点は、下地にシリコン10を用いている点である。また、p型層はシリコン表面で多結晶質薄膜として形成され、n型層は多結晶状態のp型層表面にエピタキシャル成長する点が異なる。p型層は[111]自形面を多く有する多結晶薄膜である。n型層は多結晶質p型層の[111]結晶表面にのみ成長するため、成長初期はp型層表面に不連続に形成されるが成長が進むに連れて連続的なn型層として形成されるに至る。そのほかの条件は第1の実施例と同じである。この構造においては動作電圧10V程度以上で発光が観測され、450nm中心波長を持つ青紫の発光(バンドA発光)が観測されている。

【0040】

【発明の効果】以上詳しく説明したとおり、本発明によって、広いバンドギャップを持つダイヤモンドの特性を生かした紫外発光ダイオードを実現し、低電力で動作し効率よく紫外光を得ることが可能となる。また、結晶完全性に優れたn型およびp型半導体ダイヤモンド薄膜の

接合構造を理想的な形で実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施例の素子構成を例示した断面図である。

【図2】第1の実施例の電圧電流特性を例示した図である。

【図3】第3の実施例の素子構成を例示した断面図である。

【図4】第3の実施例の発光スペクトルを示した図である。

【図5】第4の実施例のダイヤモンド紫外発光pnダイオードを示す断面図(絶縁性ダイヤモンド基板を用いた場合)である。

【図6】第4の実施例の絶縁性ダイヤモンド基板に形成したダイヤモンド紫外発光pnダイオードの電圧電流特性の片対数プロット図である。

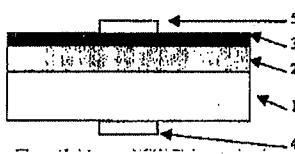
【図7】第5の実施例のダイヤモンド紫外発光pnダイオードを示す断面図(イリジウム表面にヘテロエピタキシャル成長したpn接合の場合)である。

【図8】第6の実施例のダイヤモンド紫外発光pnダイオードを示す断面図(シリコン基板に形成した多結晶質ダイヤモンドpn層を用いた場合)である。

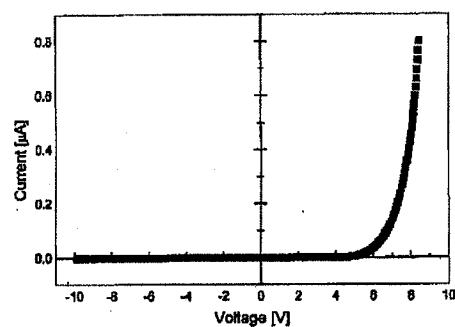
【符号の説明】

- 1 単結晶基板ダイヤモンド
- 2 ホウ素ドープダイヤモンド薄膜(p型層)
- 3 リンドープダイヤモンド薄膜(n型層)
- 4, 5 オーミック電極
- 6 アンドープダイヤモンド薄膜(1層)
- 7 絶縁性ダイヤモンド基板
- 8 イリジウムエピタキシャル薄膜
- 9 高融点単結晶基板
- 10 シリコン基板

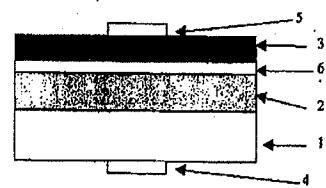
【図1】



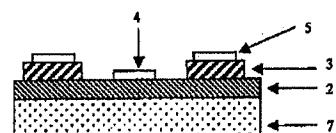
【図2】



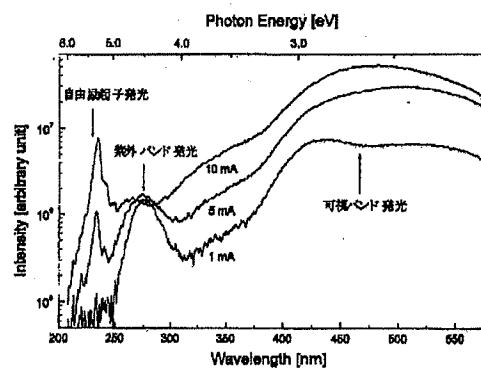
【図3】



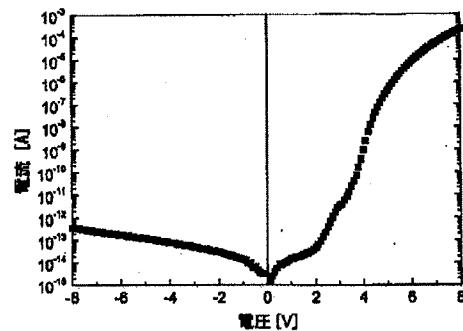
【図5】



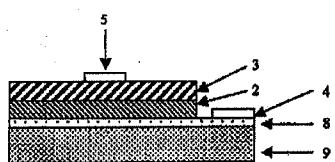
【図4】



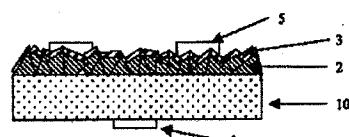
【図6】



【図7】



【図8】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F041 AA04 AA11 CA02 CA33 CA49
 CA57 CA64 CA71 CA82
 5F045 AA09 AB07 AC07 AD13 AE25
 AF02 AF10 CA10 DA60